Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

: https://dx.doi.org/10.22067/jgrd.2023.80433.1230
مقالۀ پژوهشی-مطالعۀ موردی

مدل‌سازی آماری رابطۀ بین شیب قرار رسوبات و شیب دامنۀ نبکاها (مطالعه موردی: نبکاهای کویر ابراهیم‌آباد سیرجان)

صادق کریمی (دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران)
karimi.s.climatologist@uk.ac.ir
محسن پورخسروانی (دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، نویسندۀ مسئول)
pourkhosravani@uk.ac.ir

صص ۲۹۹ ـ ۲۸۱

چکیده

تنوع پوشش گیاهی و هم‌زیستی آن با فرایندهای ژئومورفولوژیک تأثیر مهمی بر تعادل مناظر طبیعی دارد؛ بر همین اساس، این پژوهش سعی دارد اختلاف موجود بین شیب تعادلی نبکاهای مختلف و شیب قرار رسوبات در منطقه مطالعاتی را به‌صورت کمّی اندازه‌گیری و مقایسه کند؛ بدین‌منظور ابتدا شیب قرار رسوبات در منطقه تعیین شد. سپس نبکاهای نمونه در امتداد ۱۰ ترانسکت که کل منطقه را پوشش می‌داد، انتخاب شد و شیب دامنه نبکا توسط شیب‌سنج در جهات چهارگانه شمال، جنوب، شرق و غرب به درصد اندازه‌گیری شد. پس از آن، متوسط شیب دامنه نبکا محاسبه شد. درنهایت، ارتباط بین شیب دامنه نبکاها و شیب قرار رسوبات با استفاده از مدل‌های آماری ارزیابی و تحلیل شد. بررسی نبکاهای منطقه موردمطالعه مبین وجود چهار نوع نبکا براساس نوع گونه گیاهی است. نتایج آزمون تجزیه واریانس، اختلاف معناداری بین شیب تعادلی نبکاهای گونه‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها براساس فاکتورهای شیب تعادلی نبکاها و شیب حد رسوبات منطقه دو گروه متمایز را نشان می‌دهد؛ به این صورت که در

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۹/۱٥ تاریخ تصویب: ۱٤۰۱/۱۱/۰۷

سطح احتمال خطای یک درصد (α<۰/۰۱) گروه اول شامل نبکاهای گونه‌های درختچه گز، گل گزی و اشنان وگروه دوم شامل نبکاهای گونه خار شتر و شیب حد رسوبات منطقه مطالعاتی است. نتایج گروه‌بندی براساس شیب تعادلی نبکا بیانگر عملکرد متفاوت گونه خارشتر در مقایسه با سایر گونه‌هاست که علت این اختلاف در مکانیسم تطابقی این گونه در مواجهه با تنش فرایند بادرفتی است. نتایج آنالیز واریانس میانگین شیب جهات مختلف دامنه نبکاهای گونه‌های گیاهی مختلف نشان می‌دهد، متوسط شیب جهات مختلف دامنه نبکا در گونه خارشتر در سطح یک درصد (α < ۰/۰۱) معنادار شده است. به‌طورکلی، میانگین شیب هریک از جهات چهارگانه در نبکاهای گونه خارشتر یکسان نیست؛ یعنی نبکاهای گونه خارشتر در مقایسه با نبکاهای گونه‌های دیگر نامتقارن‌تر هستند؛ بنابراین شکل رویشی گیاهان نقش مهمی در ایجاد مورفولوژی چشم‌انداز ناهمواری نبکاها ایفا می‌کند.

کلیدواژه‌ها: شکل رویشی، شیب تعادلی، شیب قرار، نبکا، کویر ابراهیم‌آباد، سیرجان.

۱. مقدمه

سیستم‌های اکوژئومورفیک ازجمله سیستم‌های باز هستند. انتقال ماده و انرژی داده‌های این نوع از سیستم‌هاست که می‌تواند عامل فعالیت سیستم قلمداد شوند. سیستم حاکم بر چشم‌انداز نبکا حکایت از انباشت تصادفی ماده و انرژی در یک نقطه زمانی–فضایی دارد که به‌صورت اجزاء یا خرده‌سیستم‌های به‌هم‌مرتبطی سازمان یافته‌اند که دارای کنش و واکنش‌اند و جهت حرکت ابعاد فضایی دامنه گسترش یا پراکنش نبکاها را رقم می‌زند. انباشت نقطه‌ای مواد از قانون عمل و عکس‌العمل یا کنش و واکنش تبعیت می‌کند که عملگر سیستم فرایند بادرفتی و عکس‌العمل سیستم نیروی پوشش گیاهی است که مهارکننده نیروی عمل یا کنش سیستم است. پوشش گیاهی فرایندی است که در مقابل فرایند بادرفتی مقاومت می‌کند و هرچه انرژی آن افزایش یابد، انباشت مواد و تشکیل ژئوفرم نبکا بهتر و سریع‌تر صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه پیچیدگی و تنوع از خصوصیات اصلی سیستم‌های باز و سیستم‌های اکوژئومورفیک است (پورخسروانی و همکاران، ۱۳۸۹، ص. ۱٤۰)، مدل‌سازی به‌عنوان ابزاری

برای درک ارتباطات اکوژئومورفولوژیک پیچیده است که در سیر تکامل ناهمواری و پوشش گیاهی حاکم می‌تواند در مدیریت تغییرات محیطی یا انسانی در سیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مؤثر واقع شود (پورخسروانی و همکاران، ۱۳۹٤، ص. ۱۸)؛ بر همین اساس، اکوژئومورفولوژی مناطق بیابانی نمونه‌ای بارز از سیستم‌های پیچیده است که درک آن‌ها به‌وسیله دو فرایند اکولوژی و ژئومورفولوژی و پسخوراند بین آن‌ها بهتر صورت می‌گیرد (استالینز[1]،۲۰۰٦، ص. ٤). باید توجه داشت که پدیده‌شناسی این سیستم‌ها شامل بررسی رفتار فوق‌العاده و ساختارهای پراکنده در فرم نمونه‌های فضایی و موقتی موردبحث آن‌هاست (آندریاس[2]، ۲۰۰۷، ص. ۱۱). چشم‌اندازهای نبکایی عموماً در سطوح همواری تشکیل می‌شوند که یک رژیم باد قوی وجود داشته باشد، رسوب موردنیاز در دسترس باشد، سطح آب زیر زمین بالا باشد و رطوبت موجود برای حیات پوشش گیاهی کافی باشد (هسپ و اسمیت[3]، ۲۰۱۷، ص. ۱۳). شکل نبکا تابعی از اندازه، تراکم و به‌خصوص نحوه رشد گیاه میزبان است (لی‌لی[4] و همکاران، ۲۰۱۳، ص. ۳٤٥). گیاهان با کاهش سرعت باد و تجمع رسوبات اطراف خود باعث ایجاد چشم انداز نبکا می‌شوند (مایو[5] و همکاران، ۲۰۱۷، ص. ۳۷۹). به‌طور کلی، عوامل مختلفی نظیر بردباری اکولوژیک گونه‌های گیاهی در توسعه چشم‌انداز نبکا نقش بسزایی دارد و قابلیت ایجاد نبکا در گونه‌های مختلف متفاوت است (لانگفورد[6]، ۲۰۰۳، ص. ۸). از آنجا که عوامل متعددی در شکل‌شناسی و پایداری نبکا دخیل‌اند، این تحقیق سعی دارد با ثابت نگه داشتن برخی از این عوامل مانند عوامل اقلیمی (رطوبت، دما، باد و...)، عوامل ترسیبی (اندازه، دانه‌بندی و...) و عامل زمان به بررسی رابطه بین مقدار شیب حد رسوبات و شیب دامنه نبکاهای مختلف و تأثیر آن بر میزان پایداری نبکاها در کویر ابراهیم‌آباد سیرجان بپردازد.

1. Stallins
2. Andreas
3. Hesp & Smyth
4. Lili
5. Mayaud
6. Langford

۲. پیشینهٔ تحقیق

اهمیت کاربردی مطالعات اکوژئومورفولوژیک در چشم‌اندازهای بیابانی بیشتر به ارتباط طبیعی بین عوامل این سیستم‌های سازمند مربوط است؛ به همین دلیل، کشف روابط بین پارامترهای این سیستم پیچیده اهمیت بسیاری در ثبات، پایداری و مدیریت محیط خواهد داشت؛ ازاین‌رو، محققان پژوهش‌های متفاوتی را در این راستا انجام داده‌اند؛ ازجمله هسپ[1] (۱۹۸۱) بیان می‌کند که ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای به قطر تپه و زاویه قرار رسوبات بستگی دارد؛ درحالی‌که طول تپه‌ها به قطر تپه ماسه‌ای و سرعت باد بستگی دارد. همچنین هسپ و مک لاچلان[2] (۱۹۹۲) ضمن بررسی تأثیر فرم رویشی گونه‌های گیاهی بر توسعه، دینامیک و مورفولوژی تپه‌های نبکایی گزارش دادند که فرم رویشی گونه گیاهی تا حد زیادی منعکس‌کننده مورفولوژی، شیب تعادلی و پایداری تپه‌های نبکایی است. نگهبان و همکاران (۱۳۹۲) ضمن ارزیابی چشم‌اندازهای نبکایی در حاشیه بیابان لوت بیان کردند، نبکاها تابعی از رژیم باد در منطقه، مقدار بار رسوب در دسترس، رویشگاه گونهٔ گیاهی و نوع پوشش گیاهی هستند. جیانهویی[3] و همکاران (۲۰۱۰) ضمن بررسی توزیع فضایی نبکاها در مناطق خشک شمال چین بیان کردند، برای حفظ و ترمیم محیط‌زیست در مناطق خشک و نیمه‌خشک، توسعهٔ نبکاها و تنوع پوشش گیاهی نقش اساسی دارد. در پژوهشی دیگر، یانگ ژنگ[4] و همکاران (۲۰۱۲) ضمن مطالعه رابطه بین ارتفاع و طول نبکاهای گونه Nitraria sphaerocarpa در بیابان گبی بیان کردند، بیشتر آن‌ها در مرحله رشد قرار دارند. جمز و الاوادهی[5] (۲۰۱۳) ضمن مطالعه ارتباط بین سرعت باد، پوشش گیاهی و تپه‌های نبکایی نتیجه گرفتند، مورفولوژی نبکا به‌وسیله الگوی رشد گونه گیاهی کنترل می‌شود؛ به‌طوری‌که ارتفاع نبکا به مقدار زیادی به ارتفاع تاج پوشش گیاه بستگی دارد، اما طول نبکا به ارتفاع گیاه، عرض گیاه و سرعت باد وابسته است. همچنین ژانگ[6] و همکاران (۲۰۲۲) ضمن مطالعه

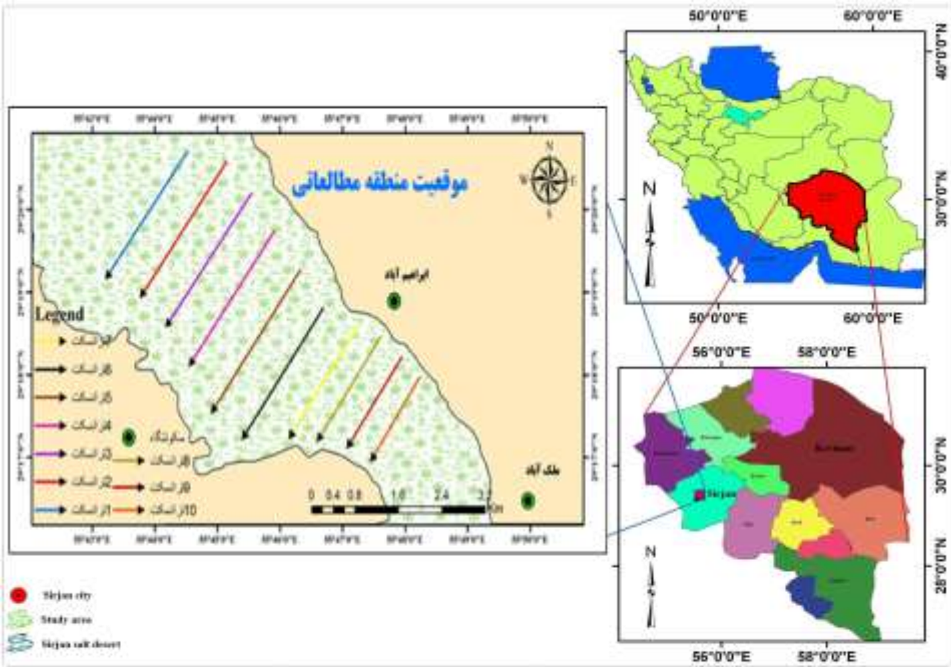
1. Hesp
2. Hesp & Mclachlan
3. Jianhuei
4.Yong Zhong
5. Jasem & Al-Awadhi
6. Zhang

مورفولوژی نبکاهای بیابان گبی در شمال چین بیان کردند، ارتفـاع، طـول و عـرض تپـه‌هـای نبکایی با ارتفاع، طول و عرض پوشش گیاهی ارتباط دارد.

۳. روش‌شناسی تحقیق

۳. ۱. موقعیت منطقهٔ موردمطالعه

منطقه موردمطالعه موسوم به کویر ابراهیم‌آباد سیرجان با مساحتی در حدود ٤٠٠ کیلـومتر مربع از محدوده حوضه آبریز کویر سیرجان است که در فرورفتگی کـوچکی واقـع در انتهـای جنوبی آبخیز اصفهان قـرار گرفتـه اسـت (کلینسـلی، ۱۳۸۱، ص. ۲۲۲). حوضـه آبریـز کـویر سیرجان در محدوده طول‌های ´٥٧ º٥٤ و ´٢٧ ° ٥٦ شرقی قرار دارد کـه کـویر ابراهیم‌آبـاد در محدوده ´٤٤ ⃞ ٥٥ تا ´٥٨ °٥٥ طول شرقی و ´٥٣ °٢٨ تا ´٠٥ °٢٩ عرض شـمالی در جنـوب شرق آبریز کویر سیرجان واقع شده است. ۱، موقعیت منطقه موردمطالعـه را نشـان مـی‌دهـد. کویر ابراهیم‌آباد سیرجان با ارتفاع متوسط ۱۷۰۰ متر از سطح تراز دریا و متوسط بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد در جنوب شرق شهرستان سیرجان قرار دارد. جهت باد غالب در این کفه °۱۳۵ جنوب شرقی است.



شکل ۱. موقعیت منطقه موردمطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۱

۳. ۲. مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نوع کاربردی است که با روش توصیفی و تحلیلی صورت گرفتـه اسـت. ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، محدوده کویر ابراهیم‌آباد سیرجان مشخص شد و سـپس ضمن بازدید صحرایی از منطقه قلمرو توسعه نبکاها تعیـین شـد. سـپس زاویـه شـیب قـرار[1] رسوبات منطقه مطالعاتی اندازه‌گیری شد. به‌طورکلی، اگر رسـوبات در شـرایط عـادی از نظـر رطوبت و ساختمان آزادانه تجمع حاصل کنند، شیب دامنه توده یا تپه تشکیل‌شـده بـه سـمت یک حد میل می‌کند که از این مرحله به بعد با افزایش ارتفاع شیب دامنه توده تغییر نمـی‌کنـد. به این زاویه، «زاویه شیب حد» یا «شیب قرار رسوبات» می‌گویند (لانگ‌فورد[2]، ۲۰۰۳، ص. ۷). برای اندازه‌گیری زاویه شیب حد رسوبات در منطقه موردمطالعه با اسـتفاده از صـفحهٔ مـدرج

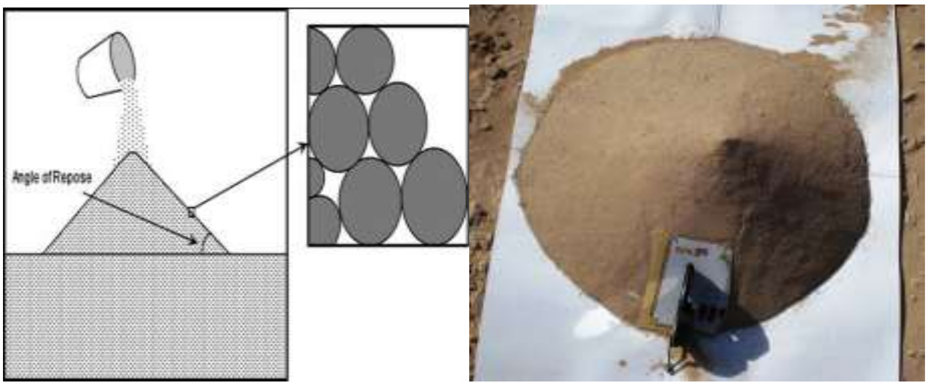
1 .Angle of Repose
2. Langford

طراحی‌شده (شکل ۵)، زوایای قرارگیری رسوبات در جهات مختلف اندازه‌گیری شد؛ به این صورت که طبق جدول ۲، رسوبات موجود در منطقه موردمطالعه به مرکز صفحهٔ مدرج طراحی‌شده ریخته شد و در هر مرحله، ارتفاع و شیب قرار رسوبات در جهات چهارگانه در جهات چهارگانه اندازه‌گیری شد تا اینکه در مرحله‌ای از آزمایش شیب رسوبات ثابت شد. از آن مرحله به بعد، هرقدر ارتفاع رسوبات افزایش یابد، زاویه شیب رسوبات ثابت باقی می‌ماند که این زاویه بیانگر زاویه شیب حد رسوبات منطقه موردمطالعه است که برابر با ۵۵ درصد است. برای اطمینان از درستی عدد به‌دست‌آمده، این زاویه در قسمت‌های مختلف منطقه موردمطالعه اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، نمونه‌برداری در امتداد ۱۰ ترانسکت ۱۰۰۰ متری که کل کویر را پوشش می‌داد، صورت گرفت. تنها نبکاهایی که با ترانسکت‌های مزبور برخورد کردند، مطالعه و اندازه‌گیری میدانی شده‌اند. حجم نمونه برای نبکاهای مختلف متفاوت بوده و به موقعیت نبکاها و محل ترانسکت‌ها بستگی داشته است که درمجموع، ۳۹۲ نبکا از گونه‌های مختلف اندازه‌گیری و ارزیابی شد. از این تعداد، ۱۴۳ نبکا به گونه Tamarix mascatensis، ۱۵۷ نبکا به گونه Reaumeria turcestanica، ۶۱ نبکا به گونه Alhagi manifera و ۳۱ نبکا به گونه Seidlitzia florida مربوط است. سپس در امتداد هر ترانسکت شیب دامنه نبکا توسط شیب‌سنج در جهات چهارگانه شمال، جنوب، شرق و غرب به درصد اندازه‌گیری شد و متوسط شیب دامنه نبکا محاسبه شد. پس از اندازه‌گیری شیب حد رسوبات و شیب دامنه نبکاها، برای تفکیک نبکاهای گونه‌های مختلف گیاهی با استفاده از آزمون آنالیز واریانس، اختلافات بین میانگین صفت شیب نبکاهای مختلف و شیب حد رسوبات آزمون شد. سپس با استفاده از آزمون‌های مقایسه میانگین‌ها، گروه‌های مختلف نبکاها براساس شیب دامنه نبکا و شیب حد رسوبات پهنه مطالعاتی تفکیک شد. برای این امر از آزمون مقایسه میانگین S.N.K در سطح احتمال خطای یک درصد (α=۰/۰۱) استفاده شد.

جدول ۱. محاسبه زاویه شیب قرار رسوبات در منطقه موردمطالعه

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

حجم رسوبات	جهت شیب								ارتفاع رسوبات cm
	شمال		جنوب		شرق		غرب		
	درجه	درصد	درجه	درصد	درجه	درصد	درجه	درصد	
مرحله اول	۲۱	۴۶	۲۲	۴۸	۲۱	۴۶	۲۰	۴۵	۷
مرحله دوم	۲۴	۴۹	۲۳	۵۰	۲۳	۴۷	۲۳	۴۸	۹
مرحله سوم	۲۷	۵۳	۲۶	۵۲	۲۶	۵۱	۲۶	۵۱	۱۰
مرحله چهارم	۲۹	۵۵	۲۸	۵۴	۲۹	۵۵	۲۸	۵۳	۱۳/۵
مرحله پنجم	۲۹	۵۵	۲۹	۵۵	۲۸	۵۵	۲۹	۵۵	۱۵
مرحله ششم	۲۹	۵۵	۳۰	۵۶	۲۹	۵۵	۲۹	۵۵	۱۶/۵
مرحله هفتم	۲۹	۵۵	۲۹	۵۵	۲۹	۵۵	۲۹	۵۵	۱۹



شکل ۲. اندازه‌گیری شیب قرار رسوبات در منطقه موردمطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۱

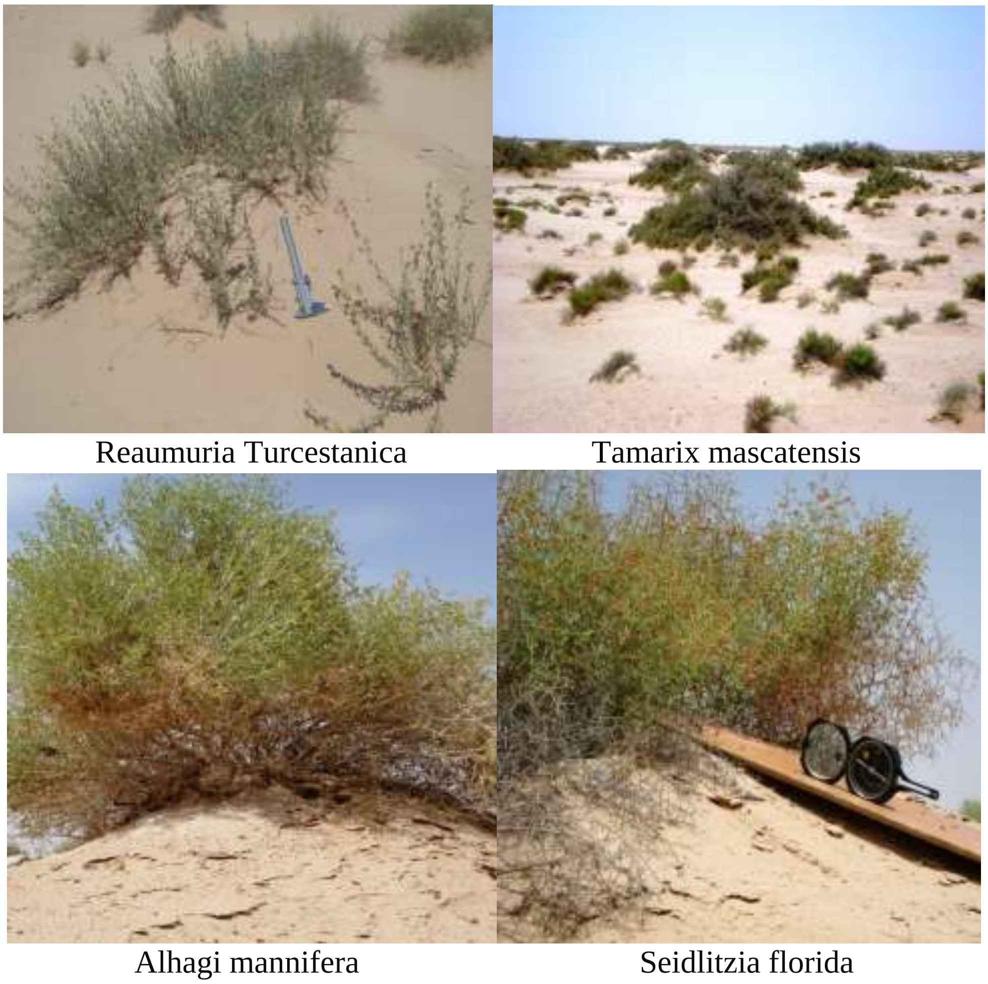
جدول ۲. مشخصات گونه‌های گیاهی تشکیل‌دهنده نبکا در منطقه موردمطالعه

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

اسم علمی	اسم فارسی	خانواده	فرم حیاتی	فرم رویشی
Tamarix macatensis	گز	Tamaricaceae	درختچه‌ای	فانروفیت
Seidlitzia florida	اشنان	Tamaricaceae	بوته‌ای	فانروفیت
Reaumuria Turcestanica	گل گزی	Tamaricaceae	بوته‌ای	کاموفیت

اسم علمی	اسم فارسی	خانواده	فرم حیاتی	فرم رویشی
Alhagi mannifera	خارشتر	Fabaceae	فورب چند ساله	همی کریپتوفیت

گونه‌های گیاهی تشکیل دهنده نبکاهای منطقه با مراجعه به فلور ایران مورد شناسایی واقع شده که در مجموع مشخصات گونه‌های مزبور در جدول ۱ درج شده است (مظفریـان،۱۳۸۲، ص. ۳٤۵).



شکل ۳. تصویر نبکاهای گونه‌های مختلف گیاهی در منطقه موردمطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱٤۰۱

٤. مبانی نظری تحقیق

پدیده فرسایش بادی بیشتر در اقالیم خشک و نیمه‌خشک عمل می‌کند و با توجه به اینکه بیش از دو سوم ایران در این اقالیم قرار گرفته است، فرسایش بادی به‌عنوان عاملی مؤثر در تخریب و ایجاد خسارت در این مناطق است. به‌طورکلی، خاک‌های مناطق خشک در مقابل عوامل فرساینده به‌دلیل کمبود مواد آلی آسیب‌پذی بیشتری دارند. با افزایش میزان خاک در طی زمان، میزان فرسایش در مکان نیز افزایش می‌یابد. بررسی پویایی و تغییرپذیری عوارض ژئومورفولوژیکی زمین، به‌ویژه در مناطق خشک و بیابانی که به‌طور عمده از عوارض ماسه‌ای پوشیده شده است، به‌دلیل تأثیر منفی ماسه‌های متحرک در زندگی مردم اهمیت ویژه‌ای دارد. فضای وسیع دشت‌ها، فقر یا نبود پوشش گیاهی، فراوانی ذرات ریزدانه، سست و منفصل بودن دانه‌ها، ازجمله عواملی هستند که شرایط را برای شکل‌زایی باد در دشت‌های داخلی فراهم کرده‌اند (علائی طالقانی، ۱۳۸٤، ص. ۲۹۵). در همین راستا، ژئومورفولوژی بادی زمینه‌ای غنی و گسترده برای بررسی فرایندها و لندفرم‌های بادی در سطح زمین فراهم می‌کند. حمل ماسه توسط فرایند بادی تحت‌تأثیر روابط پیچیده غیرخطی قرار می‌گیرد و توسعه و تکامل ناهمواری‌های ماسه‌ای متأثر از پدیده خودتنظیمی حاکم بر سیستم چشم‌انداز است. ازآنجاکه گیاهان در برابر رطوبت پایاترند، نقش مؤثرتری در تنظیم حرکت مواد به‌وسیله باد ایفا می‌کنند. مهم‌ترین نقش پوشش گیاهی در کاهش فرسایش بادی ایجاد ناهمواری است که به این وسیله سرعت باد را در نزدیکی سطح خاک کاهش می‌دهد (رفاهی، ۱۳۸۸، ص. ۳۰). نوع و تراکم پوشش گیاهی منجر به دینامیک رسوبات در سیستم می‌شود؛ به‌طوری‌که پوشش گیاهی انتقال رسوب را کاهش می‌دهد و منبع رسوب را محدود می‌کند (لان کاستر و بأس[1]، ۱۹۹۸، ص. ۱۵). بین سیستم‌های بادی که از لحاظ مقدار بار رسوب فقیر و غنی هستند، تشکیلات متفاوتی از تپه‌های ماسه‌ای می‌توان مشاهده کرد (هرسن[2]، ۲۰۰٤، ص. ۱۳) که عوارض نبکایی یکی از آن‌هاست. درواقع، نبکا عکس‌العمل طبیعی سیستم در مقابل تنش فرسایش بادی است و سیستم با ایجاد این عارضه در تعدیل چشم‌انداز بادی سعی کرده است؛

1. Lancaster & Baas
2. Hersen

به عبارت دیگر، سیستم با اتخاذ راهکارهای پسخوراند منفی در خنثی کردن تنش فرسایش بادی سعی داشته است که نتیجه آن ایجاد چشم‌انداز نبکاست (موسوی و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۱۱۳). این چشم‌اندازها که عمدتاً در منطق حمل یا ترانسفر رسوبات متحرک ایجاد می‌شوند، نقش مهمی در کنترل و کاهش اثرات ناشی از عملکرد فرایند بادرفتی در مناطق مستعد خواهند داشت.

۵. یافته‌های تحقیق

اطلاعات آمار توصیفی شیب دامنه نبکاهای مختلف در منطقه موردمطالعه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. اطلاعات آماری شیب نبکاهای مختلف در منطقه موردمطالعه

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

گونه	پارامتر	تعداد	میانگین	انحراف معیار
Tamarix mascatensis	شیب شمالی	۱۴۳	۳۶/۲۳۰۸	۱۴/۵۱۴۰۵
	شیب جنوبی	۱۴۳	۳۵/۹۵۸۰	۱۴/۷۴۷۵۶
	شیب شرقی	۱۴۳	۳۸/۵۲۴۵	۱۳/۰۸۹۰۱
	شیب غربی	۱۴۳	۳۵/۰۰۷۰	۱۳/۸۷۱۳۹
Reaumaria turcestanica	شیب شمالی	۱۷۵	۳۶/۷۳۲۵	۱۴/۲۷۴۹۵
	شیب جنوبی	۱۷۵	۴۰/۹۶۸۲	۱۷/۸۰۲۴۸
	شیب شرقی	۱۷۵	۳۵/۳۷۵۸	۱۶/۵۷۱۶۸
	شیب غربی	۱۷۵	۳۹/۱۲۷۴	۱۸/۹۶۵۴۶
Alhagi manifera	شیب شمالی	۶۱	۴۷/۲۴۵۹	۲۱/۷۰۹۰۱۸
	شیب جنوبی	۶۱	۴۸/۰۱۶۴	۱۵/۳۶۱۷۴
	شیب شرقی	۶۱	۴۸/۷۷۰۵	۱۳/۲۱۱۶۰
	شیب غربی	۶۱	۴۳/۰۶۵۶	۱۴/۶۰۵۷۹
Seidlitzia florida	شیب شمالی	۳۱	۳۵/۸۰۶۵	۱۷/۷۶۲۱۷
	شیب غربی	۳۱	۳۲/۰۷۴۱۹	۱۵/۵۴۹۸۵
	شیب جنوبی	۳۱	۳۵/۱۹۳۵	۱۲/۴۲۱۵۴
	شیب غربی	۳۱	۳۶/۸۰۶۵	۱۴/۰۹۸۲۷

خلاصه اطلاعات آماری شیب دامنه نبکاهای گونه‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. این اطلاعات شامل میانگین، انحراف معیار و تعداد نمونه‌هاست.

جدول ٤. نتایج آنالیز واریانس میانگین شیب نبکاهای مختلف و شیب حد رسوبات در منطقه موردمطالعه

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ١٤٠١

پارامتر (صفت)	عوامل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار معناداری
متوسط شیب	بین گروه‌ها	٦٠٢١/٨٧٠	٤	١٥٠٥/٤٦٧	١١/٠٢٢	٠/٠٠٠
	داخل گروه‌ها	٥٣٥٤١/١٤٦	٣٩٢	١٣٦/٥٨٥	....	......
	مجموع	٥٩٥٦٣/٠١٦	٣٩٦	....	....	....

جدول ٤ نتایج آنالیز واریانس میانگین شیب دامنه نبکاهای گونه‌های گیاهی مختلف و شیب حد رسوبات را در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد. براساس این جدول، متوسط شیب برای نبکاهای گونه‌های گیاهی مختلف و همچنین شیب حد رسوبات منطقه موردمطالعه با استفاده از آنالیز واریانس تحلیل شده است؛ به‌طوری‌که میانگین شیب برای نبکاهای مختلف و شیب حد رسوبات در سطح احتمال خطای کمتر از یک درصد (α =٠/٠١) معنادار شده است؛ یعنی به‌طورکلی میانگین هریک از صفات در نبکاهای مختلف یکسان نیست و شیب دامنه نبکاها همواره کوچکتر از شیب حد است.

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین فاکتور شیب، نبکاهای مختلف و شیب حد رسوبات با استفاده از آزمون S.N.K

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ١٤٠١

فاکتور	تعداد	گروه‌ها با میزان خطای (α=٠/٠١)	
		۱	۲
متوسط شیب نبکا اشنان	٣١	٣٦/١٣٧١	......
متوسط شیب نبکا در ختچه گز	١٤٣	٣٦/٤٣٠١	......
متوسط شیب نبکا گل گزی	١٥٧	٣٨/٢٠٠٦	......
متوسط شیب نبکا خارشتر	٦١	......	٤٦/٥٨٦١
متوسط شیب حد	١	......	٥٤/٦٠٠٠

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد، براساس میانگین شیب مخروط نبکاهای گونه‌های مختلف گیاهی و میانگین شیب حد رسوبات، دو گروه مخروط تفکیک‌شدنی است. در سطح احتمال خطای یک درصد، گروه اول شامل نبکاهای گونه اشنان، درختچه گز و گل گزی است و گروه دوم شامل نبکای گونه خارشتر و شیب حد رسوبات منطقه موردمطالعه است. نتایج این جدول نشان می‌دهد، گونه‌های گیاهی مختلف نبکاهایی با شیب دامنه مختلف به وجود می‌آورند. نتایج نشان می‌دهد، گونه خارشتر، نبکاهای با شیب تندتری در مقایسه با بقیه گونه‌های گیاهی به وجود آورده است که مؤید ناپایداری نسبی بیشتری در مقایسه با سایر گونه‌هاست.

جدول ٦. نتایج آنالیز واریانس میانگین شیب جهات مختلف نبکاهای مختلف در محدوده موردمطالعه

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۱

نوع نبکا	پارامتر (صفت)	عوامل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار معناداری
درختچه گز	متوسط شیب	بین گروه‌ها	۹٥٤/٤۱۳	۳	۳۱۸/۱۳۸	۱/٦۰۷	۰/۱۸۷
		داخل گروه‌ها	۱۱۲٤٤۷/۷۹۰	٥٦۸	۱۹۷/۹۷۱	.....	.....
		مجموع	۱۱۳٤۰۲/۲۰۳	٥۷۱	.....	.....	.....
گل گزی	متوسط شیب	بین گروه‌ها	۲۹۱٤/٤۸٤	۳	۹۷۱/٤۹٥	۳/۳٦٤	۰/۰۱۸
		داخل گروه‌ها	۱۸۰۱۸۱/۸٥٥	٦۲٤	۲۸۸/۷٥۳	......	......
		مجموع	۱۸۳۰۹٦/۳٦۹	٦۲۷	.....	......	....
اشنان	متوسط شیب	بین گروه‌ها	۸۱٦/۲۱۸	۳	۲۷۲/۰۷۳	۱/۱۹٥	۰/۳۱٥
		داخل گروه‌ها	۲۷۳۱۰/٤٥۲	۱۲۰	۲۲۷/٥۸۷	.....	.....
		مجموع	۲۸۱۲٦/٦٦۹	۱۲۳	....	......	.....
خار شت	متوسط شیب	بین گروه‌ها	٥۱٦۸/۲٤۲	۳	۱۷۲۲/۷٤۷	٦/۹۲۸	۰/۰۰۰
		داخل گروه‌ها	٥۹٦۷٥/٥۷٤	۲٤۰	۲٤۸/٦٤۸	....	....
		مجموع	٦٤۸٤۳/۸۱٦	۲٤۳	....	....	....

جدول ٦ نتایج آنالیز واریانس میانگین شیب جهات مختلف دامنه نبکاهای گونه‌های گیاهی مختلف را در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد. براساس این جدول، متوسط شیب جهات

مختلف دامنه نبکا برای نبکاهای گونه گیاهی خارشتر در سطح احتمـال خطـای کمتـر از یـک درصد (α =۰/۰۱) معنادار شده اسـت؛ یعنـی بـه‌طـورکلی میـانگین شـیب هریـک از جهـات چهارگانه در نبکاهای گونه خارشتر یکسان نیست، امـا طبـق نتـایج جـدول آنـالیز واریـانس، میانگین شیب جهات مختلف دامنه نبکاهای گونه‌های درختچه گز، گل گزی و اشنان در سطح احتمال خطای کمتر از یک درصد (α =۰/۰۱) معنادار نشده است؛ یعنی میانگین شیب هر یک از جهات چهارگانه در نبکاهای این گونه‌های گیاهی یکسان است.

جدول ۷. نتایج مقایسه میانگین‌های فاکتور شیب جهت مختلف دامنه نبکاهای مختلف در منطقه موردمطالعه با استفاده از آزمون S.N.K

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۱

نوع نبکا	فاکتور	تعداد	گروه‌ها با میزان خطای (α=۰/۰۱)	
			۱	۲
درختچه گز	شیب غربی	۱٤۳	۳۵/۰۰۷۰	....
	شیب جنوبی	۱٤۳	۳۵/۹۵۸۰	....
	شیب شمالی	۱٤۳	۳٦/۲۳۰۸	....
	شیب شرقی	۱٤۳	۳۸/۵۲٤۵	....
گل گزی	شیب شرقی	۱۵۷	۳۵/۳۷۵۸	....
	شیب شمالی	۱۵۷	۳٦/۷۳۲۵	....
	شیب غربی	۱۵۷	۳۹/۱۲۷٤	....
	شیب جنوبی	۱۵۷	٤۰/۹٦۸۲	....
اشنان	شیب جنوبی	۳۱	۳۲/۷٤۱۹	....
	شیب شرقی	۳۱	۳۵/۱۹۳۵	....
	شیب غربی	۳۱	۳٦/۸۰٦۵	....
	شیب شمالی	۳۱	۳۹/۸۰٦۵	....
خارشتر	شیب غربی	٦۱	٤۳/۱٦۳۹	....
	شیب جنوبی	٦۱	٤٦/۵٤۱۰	....
	شیب شمالی	٦۱	٤۸/۲۷۸۷	....
	شیب شرقی	٦۱	....	۵۵/۷۳۷۷

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد، براساس میانگین شیب جهات مختلف دامنه نبکاهای گونه‌های مختلف گیاهی، تنها نبکاهای گونه خارشتر در دو گروه قرار می‌گیرند. در سطح احتمال خطای کمتر از یک درصد، گروه اول شامل شیب‌های شمال، جنوب و غرب و گروه دوم شامل شیب‌های شرقی هستند، اما در نبکاهای گونه‌های درختچه گز، گل گزی و اشنان شیب جهات مختلف دامنه نبکا در یک گروه قرار می‌گیرند. این نتایج حاکی از آن است که به‌طورکلی مخروط نبکاهای گونه‌های درختچه گز، گل گزی و اشنان در مقایسه با مخروط نبکاهای گونه خارشتر متقارن‌تر هستند و می دانیم که در شکل‌شناسی، طبق اصل تقارن هرچه شکلی متقارن‌تر باشد، میزان پایداری آن بیشتر است؛ بنابراین با توجه به مطالب ذکرشده، مخروط نبکاهای گونه خارشتر که تقارن کمتری دارند، پایداری کمتری دارند.

٦. نتیجه‌گیری

نکته درخور توجه در فرایند ایجاد و توسعه نبکا، وضعیت پوشش گیاهی است. عوامل مختلفی نظیر بردباری اکولوژیک گونه‌های گیاهی در توسعه چشم‌انداز نبکا نقش بسزایی دارد و قابلیت ایجاد نبکا در گونه‌های مختلف متفاوت است؛ به‌طوری‌که مورفولوژی نبکا تا حد زیادی به‌وسیله الگوهای رویشی گونه‌های گیاهی تشکیل‌دهنده آن کنترل می‌شود. در این چشم انداز شرایط رویشی گونه‌های گیاهی نقش مهمی در میزان پایداری و تعادل رسوبات ترسیبی دارد؛ به‌طوری‌که نوع گونه گیاهی تشکیل‌دهنده نبکا تعیین‌کننده میزان پایداری و تعادل آن است. همچنین فرم حیاتی گونه‌های مختلف گیاهی تأثیر بسزایی بر شیب تعادلی رسوبات ترسیب‌شده توسط آن گونه گیاهی دارد؛ بدین ترتیب که گیاهان درختی و درختچه‌ای و همچنین گیاهان بوته‌ای که اندام‌های پایا دارند، نبکاهای پایدارتری در مقایسه با گیاهان یک‌ساله یا گیاهانی ایجاد می‌کنند که در پایان دوره رویشی و فصل مساعد اندام‌های هوایی خود را از دست می‌دهند. در گیاهان دارای اندام‌های هوایی پایا، شیب دامنه نبکا ملایم‌تر است؛ به همین دلیل، پایداری تپه‌های نبکایی بیشتر می‌شود.

همان‌گونه که نتایج تحقیق نشان می‌دهد، نبکاهای گونه خارشتر که دارای فرم حیاتی فورب چندساله هستند و اندام‌های هوایی آن در پایان فصل مساعد رشد از بین می‌رود، دارای

شیب بیشتری در مقایسه با نبکاهای سایر گونه‌های گیاهی موجود در منطقه‌اند و از نظر شیب با شیب حد رسوبات منطقه در یک گروه حد می‌گیرند، اما نبکاهای گونه‌های گیاهی درختچه گز، گل گزی و اشنان که دارای فرم حیاتی درختچه‌ای و بوته‌ای و دارای اندام‌های هوایی پایا هستند، دارای متوسط شیب کمتری هستند و از نظر شیب در یک گروه حد می‌گیرند که این خود نشان از اهمیت زیاد اندام‌های هوایی گونه‌های گیاهی تشکیل‌دهنده نبکا در میزان شیب نبکا و به‌تبع آن، میزان پایداری تپه‌های نبکایی دارد. با توجه به مطالب مذکور می‌توان گفت، دامنه بردباری عوامل زنده تعیین‌کننده نوع چشم‌اندازهای اکوژئومرفولوژیک حاکم در یک ناحیه است. حال اگر شرایط محیطی باعث اختلال در دوره زندگی یا میزان رشد عامل بیولوژیک شود، نوع لندفرم‌های شکل‌گرفته در منطقه‌ای خاص دچار تغییر اساسی خواهد شد؛ پس دامنه بردباری عنصر بیولوژیک میزان تعادل در چشم‌انداز اکوژئومرفیک را مشخص می‌کند. به‌طورکلی، لندفرمی که دارای تعادل ژئومرفولوژیک ضعیف باشد، تنها می‌تواند تغییرات بسیار محدودی را در فرایندهای شکل‌زا تحمل کند و برعکس، لندفرم‌های دیگری که قادر باشند در شرایط متفاوت یا بسیار متغیر خود را تثبیت کنند، می‌توانند دوام بیشتری داشته باشند. تعادل ژئومرفولوژیک در یک لندفرم مشخص بر حسب اینکه لندفرم مدنظر در چه مرحله‌ای از رشد باشد، متفاوت خواهد بود (باقریه نجار، ۱۳۷۷، ص. ۲۳۵). به‌طورکلی، تغییرات در محیط با اثرگذاری بر روابط تعادلی سبب بروز تغییر در فرم و ایجاد معادلات جدیدی در فضا می‌شود و بر شرایط تعادل تأثیر می‌گذارد. با توجه به اهمیت حصول این شرایط در ژئومورفولوژی، دستیابی به روابطی از فرم که بیان‌کننده حالت‌های گوناگون چشم‌اندازها باشد، بسیار ضروری است و این کار نیازمند شاخص‌های رقومی است. مدل‌سازی مفهومی است که چنین ضرورتی را برای ما تدارک می‌بیند؛ به همین علت، فرم حیاتی گونه‌های گیاهی نقش بسزایی در پایداری تپه‌های نبکایی و تثبیت آن‌ها دارد. محمودی (۱۳۸۲ ص. ۲۵۹) بیان کرده است، تا زمانی که گیاه امکان حیات داشته باشد، نبکا به حیات خود ادامه می‌دهد، اما به‌محض خشک‌شدن بوته، تخریب نبکا آغاز می‌شود و از بین می‌رود. ازجمله پارامترهای اساسی دیگر در میزان پایداری اشکال میزان تقارن شکل مربوطه است. همان‌گونه که می‌دانیم، در مباحث شکل‌شناسی هرچه شکلی متقارن‌تر باشد، میزان پایداری آن بیشتر

خواهد بود. همان‌گونه که نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد، مخروط نبکاهای گونه خارشتر دارای تقارن کمتری در مقایسه با مخروط نبکاهای گونه‌های درختچه گز، گل گزی و اشنان است که این موضوع حاکی از کم بودن میزان پایداری مخروط نبکاهای گونه خارشتر در مقایسه با نبکاهای گونه‌های دیگر است.

به‌طورکلی، عملکرد سیستم‌های مختلف منوط به روابط بین اجزای سیستم، سیستم‌های مجاور آن و فعالیت‌هایی است که در آن سیستم صورت می‌گیرد. در همین رابطه، سیستم چشم‌انداز طبیعی که سیستمی باز قلمداد می‌شود، روابط بین کارکردها یا فرایندهای تحمیلی بر آن سیستم بر چهره آن مؤثر است. در همین راستا باید توجه داشت که شکل‌زایی در مناطق مختلف به‌خصوص در مناطق خشک حاصل فعالیت مستمر فرایند باد است و شکل تکامل‌یافته شکلی است که در اثر پاسخ‌گویی مستمر به این فرایند حاصل می‌شود؛ به عبارت دیگر، هر شکل بیشترین ارتباط را با فرایندی دارد که بیشتر بر آن تأثیر می‌گذارد؛ پس هرچه این ارتباط قوی‌تر باشد، ظرفیت بافری سیستم بیشتر خواهد بود. چشم‌انداز نبکا حاصل فرایند بادرفتی و عملکرد پوشش گیاهی است؛ بنابراین روابط بین عوامل بیولوژیک و عوامل شکل‌شناسی نبکا حاکی از هماهنگی میان کارکرد این دو عامل است. اگرچه این روابط شدت‌های ثابت ندارند، شدت این ارتباطات دارای دامنه معینی است. از طرف دیگر، اگر بین فرایندهای شکل‌ساز و فرم‌های نبکا رابطه‌ای برقرار نباشد، میزان مبادله ماده و انرژی با سیستم‌های مجاور بیشتر می‌شود و تعادل سیستم‌های مجاور بیشتر دچار تغییر می‌شود؛ پس هرچه ارتباط بین فرم و فرایند در سیستم چشم‌انداز نبکا قوی‌تر باشد، بیانگر تثبیت ماده و انرژی بیشتری داخل سیستم است و کارایی سیستم افزایش می‌یابد؛ بنابراین ایجاد چشم‌انداز نبکا بیانگر تثبیت حجم هنگفتی از ماده و انرژی در سیستم بادرفتی است؛ ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت، در مدیریت محیط حفظ هماهنگی بین نیروهای عمل‌کننده و سیمای چشم‌انداز بسیار مهم است که رسیدن به این هدف تنها با شناخت نوع و میزان روابط بین اجزای سیستم حاصل می‌شود.

کتابنامه

۱. باقریه نجار، م. ب. (۱۳۷۷). *مقدمه‌ای بر بوم‌شناسی*. گرگان: انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲. پورخسروانی، م.، ولی، ع.، و محمودی محمدآبادی، ط. (۱۳۹٤). تحلیل مقایسه‌ای مدل‌های آماری و شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد حجم رسوبات نبکاها (مطالعه موردی: نبکاهای درختچه گز در کویر ابراهیم‌آباد سیرجان). فصلنامه *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ٤(۱)، ۲۹-۱۷.

۳. پورخسروانی، م.، ولی، ع.، و موحدی، س. (۱۳۸۹). گروه‌بندی مقایسه‌ای نبکاهای، سیدلیتزیا فلوریدا، روماریاتورکستانیکا و الحاجی مانیفرا بر اساس عملکرد فرم‌های رویشی گیاهان در منطقه خیر آباد سیرجان. *فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۳۱ (۱)، ۱۵۸-۱۳۷.

٤. رفاهی، ح. (۱۳۸۸). *فرسایش بادی و کنترل آن* (چاپ اول). تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۵. علایی طالقانی، م. (۱۳۸٤). *ژئومورفولوژی ایران*. تهران: نشر قومس.

٦. کلینسلی، د. (۱۳۸۱). *کویرهای ایران* (ع. عباس پاشایی، مترجم). تهران: انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

۷. محمودی، ف. (۱۳۸۲). *ژئومرفولوژی دینامیک*. تهران: انتشارات پیام نور.

۸. مظفریان، و. (۱۳۸۲). *فرهنگ نام‌های گیاهان ایران*. تهران: انتشارات فرهنگ معاصر.

۹. موسوی، س. ح.، معیری، م.، و ولی، ع. (۱۳۹۱). انتخاب مناسب‌ترین نوع گونه گیاهی نبکا برای تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از مدل AHP (مطالعه موردی: ریگ نجارآباد، شمال شرق طرود). *مجله محیط شناسی*، ۳۸(۱)، ۱۱٦-۱۰۵.

۱۰. نگهبان، س.، یمانی، م.، مقصودی، م.، و عزیزی، ق. (۱۳۹۲). بررسی تراکم، ژئومورفولوژی و پهنه-بندی ارتفاعی نبکاهای حاشیهٔ غربی دشت لوت و تأثیرات پوشش گیاهی بر مورفولوژی آنها. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ٤(۱)، ٤۲-۱۷.

11. Andreas, C., & Baas, W. (2007). Complex systems in Aeolian geomorphology. *Geomorphology*, *91*(13), 311–33.
12. Hersen, P. (2004). On the crescentic shape of barchan dunes. *The European Physical Journal*, *37*(3), 507–514.
13. Hesp, P. A. (1981). The formation of shadow dunes. *Sediment. Petrol, 51*(6), 101-112.

14. Hesp, P., & Mclachlan, A. (1999). Morphology, dynamics, ecology and founa of Arctotheca populifolia and Gazania rigens nebkha dunes. *Journal of arid Environments, 44*(3), 155-17.
15. Hesp, P.A., & Smyth, T.A.G. (2017). Nebkha flow dynamics and shadow dune formation. *Geomorphology*, *282*(21), 27–38.
16. Jasem, M., & Al-Awadhi, A. (2014). The effect of a single shrub on wind speed and nabkhas dune development: A case study in Kuwait. *International Journal of Geosciences, 5*(2), 20-26.
17. Jianhui, D., Ping, Y., & Yuxiang, D. (2010). The progress and prospects of nebkhas in arid areas. *Journal of Geography Scince, 20*(5), 712-728.
18. Lancaster, N., & Baas A.C.W. (1998). Influence of vegetation cover on sand transport by wind: field studies at Owens Lake, California. *EarthSurface Processes and Landforms*, *23*(7), 69–82.
19. Langford, R. P. (2003). Nabkha (coppice dune) fields of south-central New Mexico. *Journal of Arid Environments, 46*(9), 25-41.
20. Lili, L., Xunming, W., Eerdun, H., & Ting, H. (2013). Nebkha (coppice dune) formation and significance to environmental change reconstructions in arid and semiarid areas. *Journal of Geographical Sciences, 23*(2), 344-358.
21. Mayaud, J. R., Wiggs, G. F. S., & Bailey, R. M. (2017). A field-based parameterization of wind flow recovery in the lee of dryland plants. *Earth Surface Processes and Landforms, 42*(11), 378–386.
22. Stallins, J.A. (2006). Geomorphology and ecology: Unifying themes for complex systems in biogeomorphology. *Geomorphology, 77*(23), 207–216.
23. Yong Zhong, Su., Rong, Y., ZhiHui, Zh., & Ming, W. D. (2012). Distribution and characteristics of Nitraria sphaerocarpa nebkhas in a Gobi habitat outside an oasis in Hexi Corridor region, China. *Sciences in Cold and Arid Regions, 4*(4), 288–295.
24. Zhang, Z. C., Han, L. Y., Pan, K. P., Dong, Z. B., Liang, A., Nan, L., Li, X. C., .., & Li, C. (2022). Dune morphology in the Gobi deserts of northern China and potential implications for dust emission. *Sedimentology, 67*(2), 1-29.